

次世代大気モデルに向けた乱流雲解像モデル

大西 領^{1*}, 杉村 剛¹, 小森 悟², 高橋桂子¹

¹独立行政法人海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター, ²京都大学大学院工学研究科

*onishi.ryo@jamstec.go.jp

MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) にビン法による雲物理計算法を実装し、その中に独自開発した乱流衝突頻度モデルを組み込んだ。これによって、乱流による雲粒の衝突成長促進を考慮した3次元乱流雲シミュレーションが可能になった。地球シミュレータを最大限に活用すれば、開発したビン法乱流雲解像モデルは100km程度の計算領域に対して適用可能である。次世代スーパーコンピュータでは、台風などのより大きなスケールの気象現象に対しても適用可能になり、さらなる予測精度の向上が期待できる。

1 はじめに

局地的豪雨による被害は大きな社会問題である。特に日本は地形が険しく複雑であるため、被害の局地性が強い。例えば、ある地点で豪雨被害が起こっても、一山超えた隣町では被害がないということもある。このような局地的豪雨をもたらす雲は、地形的・熱的要因によって鉛直方向に発達する対流雲であり、強い上昇流によって乱流状態にある。このような乱流状態の雲（乱流雲）の発達を正確に予測することは局地的豪雨予測に不可欠である。

乱流雲の発達の正確な予測には、乱流輸送・混合を可能な限り正確に予測することが必要である。そのためには、少なくとも数100m、理想的には数mという高い解像度が必要となり、局地的豪雨をもたらす台風や前線などの1000km規模の現象には、超大規模並列計算は不可欠である。また、乱流によって雲粒の衝突成長が促進されることが指摘されているので、この促進効果を考慮する必

要がある。このためには、まず、雲粒の大きさを陽に扱う雲物理計算法と、乱流中での雲粒の衝突頻度を予測できるモデルが必要である。前者としては、ビン法と呼ばれる手法が挙げられる。ビン法では雲粒を径ごとに多数のビン（クラス）に分類し、ビン毎の移流や成長を計算する。水物質を雲・雨・氷晶・雪・霰に分類し、雲粒の大きさを陽に扱わない従来のバルク法に比べて計算コストは高くなるが、現実により近い雲生成過程を表現することができる。

本研究では、MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment, 次節参照)^[1]の大気コンポーネント (MSSG-A) にビン法を実装した。さらに、レイノルズ数およびストークス数依存性を考慮した乱流衝突頻度因子モデル^{[2][3]}を開発し、実装した。これにより、乱流による雲粒の衝突成長促進効果までを考慮した3次元乱流雲に対する大規模シミュレーションが可能になった。

2 MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment)

地球シミュレータセンター複雑性シミュレーション研究グループはMSSGと呼ばれる非静力学大気・海洋結合モデルの開発に取り組んでいる。MSSGは地球シミュレータ上での計算性能が最大限に最適化されており、その大気コンポーネントであるMSSG-Aは、地球シミュレータ512ノード(=4096CPU)を使用して、18.7Tflops(=ピーク性能比57.2%)を達成している。

図2に、全地球に対して11km、日本を取り囲むネスト領域に対して2.78kmの水平解像度を用いた大気・海洋結合モデルMSSGによる2003年

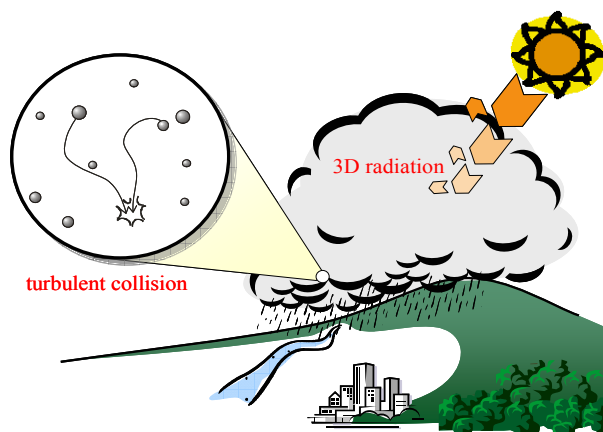


図1：乱流雲の概念図

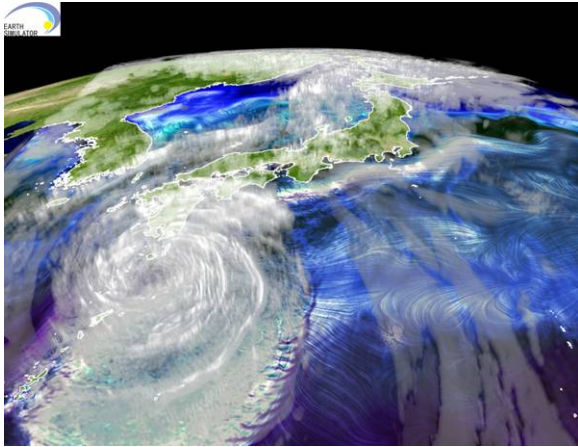


図2 : MSSG による 2003 年台風 10 号のシミュレーション結果

台風 10 号のシミュレーション結果を示す。ただし、このシミュレーションでは雲物理計算法として標準的なバルク法が用いられており、乱流による雲粒の衝突成長促進効果が考慮されていない。そのため、個々の乱流雲までが正確に予測されているとは言えない。

3 乱流雲に対するシミュレーション

本研究で開発したビン法乱流雲解像モデルを用いたシミュレーション結果の一例を図 3 に示す。ここでは乱流雲として地形性の対流雲を取り上げ、湿潤大気が標高 1 km、半振幅 2km の 2 次元のベル型山を吹き抜ける様子を再現した。水平格子解像度 100m で 80 km×8 km×15 km の領域に対して計算を行った。図中の白色は雲域を示し、青色は半径 100 μ m 以上の大雲粒の存在域を示している。吹出し図には、液水混合比[kg/kg]と変動速度ベクトルのスパン方向断面図を示した。流れ場が乱流状態にあり、収束・上昇域に対応して 3 次元構造を有する雲が発達する様子がわかる。図は省略するが、乱流による雲粒の衝突成長促進を考慮しなければ、降雨量を約 20%も過小評価することがわかった。

開発したビン法乱流雲解像モデルは、従来のバルク法を用いた場合に比べて、必要主メモリと計算時間はともに約 10 倍程度である。このことは、次世代スーパーコンピュータを用いれば、従来のバルク法の代わりにビン法乱流雲解像モデルによる予測シミュレーションが可能であることを意味する。

4 まとめと今後の展望

MSSG にビン法による雲物理計算法を実装し、

かつ、その中に本研究で開発した乱流衝突頻度モデルを組み込むことにより、ビン法乱流雲解像モデルを開発した。これによって、乱流による雲粒の衝突成長促進を考慮した乱流雲のシミュレーションが可能になった。

次世代スーパーコンピュータを用いれば、図 2 に示した台風シミュレーションが、ビン法乱流雲解像モデルによって実行可能であると期待される。台風を取り囲むスパイラルバンド内の雲は激しい乱流状態にあると考えられるので、乱流雲をより正確に予測できれば、局地的降雨の予測精度が向上すると期待される。

乱流雲は 3 次元構造を有するので、放射による加熱・冷却を正確に考慮するためには 3 次元放射スキームが必要になると考えられる。今後はさらに、その開発・実装を検討する予定である。

参考文献

- [1] Takahashi, K. et al., Non-hydrostatic atmospheric GCM development and its computational performance, *Use of High Performance computing in meteorology*, (2005), pp. 50-62.
- [2] 大西,小森, 乱流中における同一径粒子間の衝突因子のモデル化, 機論 B, 73 巻, 730 号, pp.1703-1710, 2007.
- [3] 大西,高橋,小森, 乱流中での粒子の衝突成長に対する Large-Eddy Simulation, 機論 B, 72 巻, 722 号, pp.2441-2448, 2006.

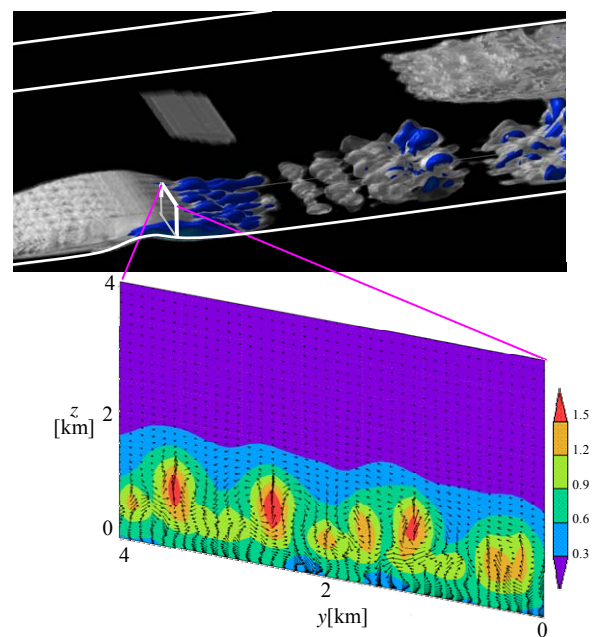


図3 : ビン法乱流雲解像モデルによる結果